Archive of SID

مدیریت مصرف و توزیع آب در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی تجن با تاکید بر پایداری منابع آب

سمیه شیرزادی لسکوکلایه[1]*، مصطفی مردانی نجف آبادی و علی شاهنظری

استادیار گروه اقتصادکشاورزی دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

s.shirzadi@sanru.ac.ir

استادیار گروه اقتصادکشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان .

m.mardani@asnrukh.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

A.shahnazari@sanru.ac.ir

چکیده

مدیریت عرضه و تقاضای آب نقش مهمی در بخش کشاورزی دارد. اراضی کشاورزی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن، از جمله مناطقی است که در سال‌های اخیر به دلیل عدم مدیریت صحیح در توزیع مصرف آب کشاورزی، دچار استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شوری شده است. لذا، هدف این تحقیق بررسی وضعیت پایداری آب زیرزمینی و مدیریت مصرف و توزیع آب شبکه آبیاری و زهکشی تجن با اجرای سیاست‌های قیمتی آب و کاهش مقدار آب در دسترس اراضی بالادست تحت پوشش شبکه مزبور از آب سطحی می‌باشد که با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و محاسبه شاخص پایداری آسانو بررسی شد. داده‌های مورد نیاز مطالعه، از آمارنامه جهادکشاورزی، مراجعه مستقیم به سازمان جهادکشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای مازندران در سال ۹۶-۱۳۹۵ جمع آوری گردید. نتایج نشان داد وضعیت منابع آب در منطقه پایدار نبوده و تغییر الگوی کشت و ایجاد سیاست‌های مختلف آبیاری در منطقه باعث افزایش پایداری منابع آب شده و میزان پایداری آب را از ۰/۴۵ به ۰/۲۷ و از وضعیت بحرانی به وضعیت خوب تغییر می‌دهد. سیاست قیمتی آب تا ۳۰ درصد افزایش نسبت به شرایط کنونی، تاثیر چندانی بر مصرف آب آبیاری ندارد. ولی کاهش مقدار آب در دسترس دراراضی بالادست شبکه آبیاری و زهکشی تجن علاوه بر کاهش مقدار آب مصرفی و مدیریت مصرف آن، منافع اقتصادی پایین دست شبکه را با لحاظ نمودن حداقل کاهش در منافع اقتصادی بالادست، بهبود خواهد بخشید. لذا پیشنهاد می‌شود به منظور کمک به پایداری آب زیرزمینی منطقه، سیاست کاهش مقدار آّب در دسترس در اراضی بالادست شبکه تجن در دستور کار مدیران قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، پایداری آب زیرزمینی، مدیریت تقاضای آب

---

[1] – آدرس نویسنده مسئول: ساری، گروه اقتصادکشاورزی دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

*– دریافت : مرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

استفاده پایدار از منابع آب در بخش کشاورزی که یکی از بخش‌های مهم اقتصاد کشور است، با توجه به مزیت‌های بالقوه طبیعی و نقش حساس در امنیت غذایی جامعه، بیش از سایر بخش‌ها نیاز به توجه دارد. رشد سریع جمعیت، کمبود مواد غذایی موجود و مشکلات جهانی غذا بر ضرورت مدیریت مصرف و بهره‌برداری بهینه و استفاده پایدار از منابع آب و تعادل بخشی آب زیرزمینی افزوده است (عزیزی و یزدانی، ۱۳۸۳). یکی از عوامل محدودکننده‌ی توسعه بخش کشاورزی ایران، آب است (امیرتیموری و باقرزاده، ۱۳۸۷). کمیابی منابع آب و عدم توانایی انسان در تولید آن، موجب شده تا فاصله بین عرضه و تقاضای آب، به‌ویژه در دهه‌های اخیر به شدت زیاد شود و در اغلب مناطق دنیا کمبود عرضه آب به وجود آید (صبوحی و الوانچی، ۱۳۸۷؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳).

مدیریت ضعیف آبیاری در اغلب نقاط کشور و کاهش پایداری منابع آب، منجر به افزایش تقاضا برای این نهاده حیاتی و هدررفتن مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن گردیده است. در مواقعی که عرضه آب دچار بحران می‌شود، مدیریت تقاضای آب یعنی کاهش تقاضا در مصرف آن مورد توجه قرار می‌گیرد (ترکمانی و همکاران، ۱۳۷۷؛ روحانی و همکاران، ۱۳۸۶). بر این اساس، تداوم افزایش شکاف میان عرضه و تقاضای آب در آینده، توجه جدی به برنامه‌ریزی اقتصادی منابع آب و تخصیص بهینه آن را اجتناب‌ناپذیر نمود و مدیریت صحیح منابع آب را ضروری ساخت (بخشی و همکاران، ۱۳۹۰؛ پرهیزکاری، ۱۳۹۳).

امروزه تلاش‌های زیادی برای بهبود مصرف آب در بخش کشاورزی، پایداری منابع آب و بهبود توزیع آن در بین فعالیت‌های مختلف صورت گرفته است. برای بهبود کارایی تخصیص آب، اقتصاددانان افزایش قیمت نهاده آب را پیشنهاد می‌نمایند، ولی سیاست‌گذاران به دلایل اقتصادی، فرهنگی و سیاسی این پیشنهاد را رد می‌کنند (هی و همکاران[2]، ۲۰۰۶). به طور کلی، مدیریت مطلوب تقاضا از طریق قیمت‌گذاری می‌تواند با تأمین قسمتی از نیازهای مالی بخش آب، موجبات تقویت نقش اقتصادی آب در توسعه را فراهم کرده و ضمن استفاده کارآتر، بهره‌وری نهاده‌های کشاورزی از جمله آب را نیز بهبود بخشد. از این رو، قیمت‌گذاری آب به عنوان یک ابزار مناسب مدیریتی، جهت ایجاد سازگاری بین فعالیت‌های عملی و واقعی بهره‌برداران از آب و خدمات وابسته به آن با اهداف و استراتژی‌های توسعه ملی مطرح می‌باشد (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱).

افزون بر سیاست قیمتی آب، سهمیه‌بندی آب آبیاری نیز راهکار دیگری است که برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیاست با کاهش حجم آب آبیاری در دسترس امکان‌پذیر می‌باشد (کایی و روسگرانت[3]، ۲۰۰۴؛ پرهیزکاری، ۱۳۹۳).

وضعیت پایداری منابع آب، مدیریت مصرف و توزیع مناسب آب در بخش کشاورزی و مدیریت تقاضای آن، در بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی مورد بررسی قرار گرفته است که راهکارهایی را برای سازگاری با مشکلات منابع آب کشور ارائه نموده‌اند. در این راستا، به منظور مدیریت مصرف بهینه آب و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، آذریان (۱۳۹۶) در استان سیستان و بلوچستان، پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۵) در استان قزوین و امیرنژاد و همکاران (۱۳۹۶) در دشت بهشهر استان مازندران، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی[4] (PMP) استفاده کرده و قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آب در دسترس تحت سناریوهای مختلف را تعیین نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که تعیین قیمت آب و کاهش آب آبیاری در دسترس، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری می‌گردد. همچنین، اجرای سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری با توجه به کاهش کمتر بازده برنامه‌ای برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی پیشنهاد شد و تکنیک کم‌آبیاری پس از آن در اولویت قرار

[2]- He *et al*
[3]- Caii and Rosegrant
[4]. Positive Mathematical Programming (PMP)

www.SID.ir

Archive of SID

گرفت. حسنی و همکاران[5] (۲۰۱۹) در رودشت ایران و هویت و همکاران[6] (۲۰۱۲) در کالیفرنیا به منظور توزیع بهینه آب در بخش کشاورزی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از مدل ایجاد شده اثرات سیاست‌های مختلف آب آبیاری را بر مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بررسی کردند. همچنین رودریگز و همکاران[7] (۲۰۱۹) در مکزیک، لویی و همکاران[8] (۲۰۱۸) در کانادا، فرانکو و سامسی[9] (۲۰۱۷) در اکوادور، به منظور مدیریت پایدار منابع آب و توزیع بهینه آب در بخش کشاورزی از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نیز نشان داد این روش برای توزیع بهینه و سیاست‌گذاری‌های مربوط به منابع آب برای توسعه پایدار هر منطقه بسیار مناسب بوده و کمک بزرگی به مدیران، تصمیم‌گیران و سیاست‌گزاران این بخش خواهد کرد. حافظ پرست و فاطمی (۱۳۹۵) در حوضه آبریز گاماسیاب، زارع و همکاران (۱۳۹۶) در استان خراسان رضوی و حجی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) در دشت بجنورد به بررسی مدیریت تقاضای آب کشاورزی، استفاده پایدار از منابع آب و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی پرداخته‌اند. نتایج مطالعات آن‌ها بیان‌کننده این مطلب است که استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری و افزایش راندمان می‌تواند تراز آب زیرزمینی را افزایش دهد. ولی نباید سطح زیرکشت افزایش یابد و مقدار بهره‌برداری آب از چاه‌ها نیز باید کنترل شود.

بررسی مطالعات انجام شده نشان داد که مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، ابزار مهم و مناسبی برای توسعه سیاست‌های کاربردی در زمینه مدیریت منابع آب و پایدرای بخش کشاورزی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان داخلی و خارجی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر نیز برای مدیریت مصرف و توزیع آب شبکه آبیاری و زهکشی تجن، اثر سناریوهای سیاست‌های قیمتی و کاهش مقدار آب آبیاری در اراضی بالادست بر مدیریت مصرف آب در اراضی بالادست و پایین دست، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده گردید. در اکثر مطالعات انجام شده، صرفا اثر سیاست‌های مختلف قیمتی و مقداری آب بر میزان سودآوری کشاورزان و بهبود مصرف آب در سطح مزرعه و یا یک حوضه مورد توجه قرار گرفته است و به ارزیابی اثر آن سیاست‌ها بر وضعیت پایداری منابع آب کمتر توجه شده است. مطالعه حاضر ضمن بررسی اثر سیاست‌های قیمتی و مقداری آب کشاورزی بر اراضی بالادست و پایین دست شبکه آبیاری و زهکشی به بررسی مدیریت توزیع آب شبکه پرداخته شده و اثر آن در بهبود و یا تغییر در وضعیت پایداری آب زیرزمینی اراضی پایین دست تحت پوشش این شبکه نیز با استفاده از شاخص پایداری آسانو[10] مورد ارزیابی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

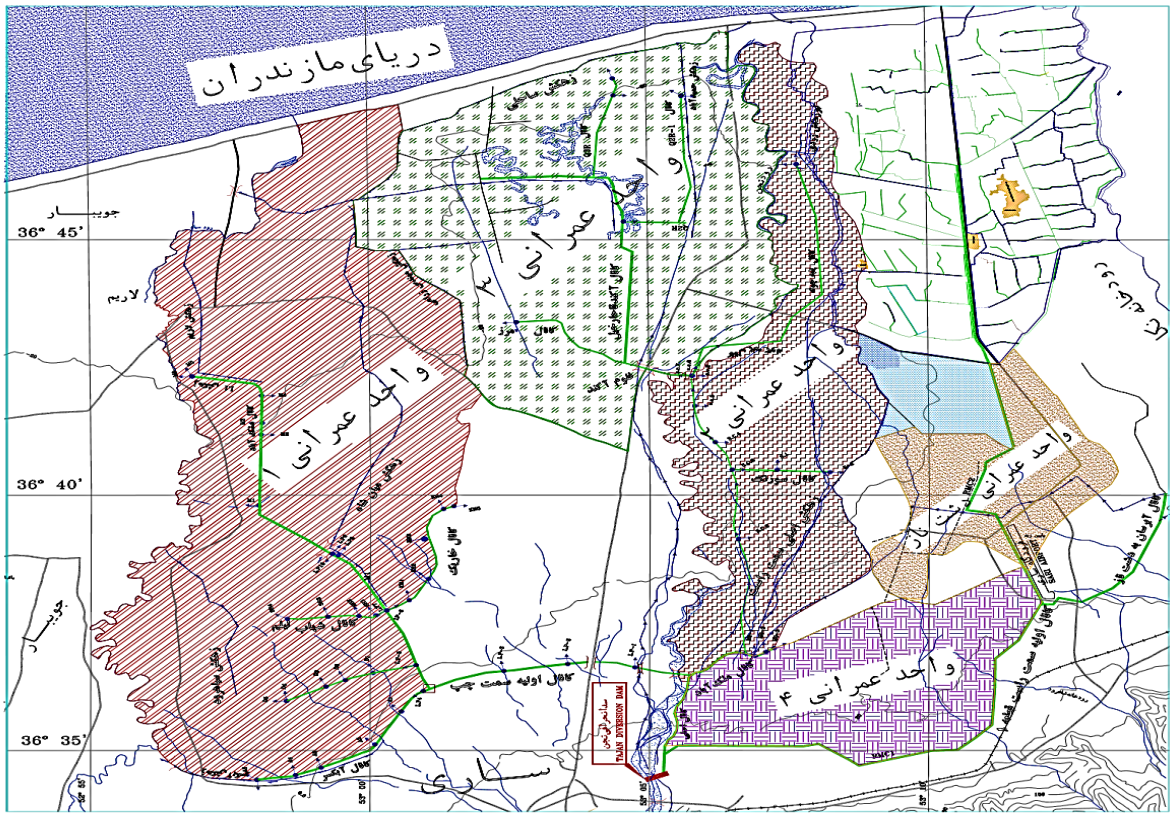
شبکه آبیاری و زهکشی دشت تجن در استان مازندران، شهرستان ساری و در دامنه شمالی سلسله جبال البرز واقع شده و جزء حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد (حاجی‌زاده، ۱۳۹۴). این شبکه بین عرض‌های جغرافیایی ′۳۵ °۳۶ الی ′۵۰ °۳۶ و طول‌های جغرافیایی′۵۵ °۵۲ الی ′۱۵ °۵۳ قرار دارد. شبکه آبیاری و زهکشی تجن که به‌عنوان شبکه کانال‌های آبرسان تلقی می‌گردد، آب ذخیره و تنظیم شده رودخانه تجن را در محل سد انحرافی ساری دریافت و در چهار واحد عمرانی در سواحل چپ و راست رودخانه تجن جهت تغذیه کانال‌های فرعی آبیاری درجه دو و سه و انهار سنتی اصلی و همین طور آب‌بندان‌ها درسطح دشت منتقل و توزیع می‌نماید. سیستم تجن، اراضی کشاورزی به مساحت ۵۶ هزار هکتار را تحت پوشش دارد که تقریبا ۱۳ هزار هکتار آن باغات میوه و مابقی را اراضی زراعی تشکیل می‌دهند. ۷۰ درصدکشت غالب اراضی محدوده مطالعاتی، برنج می‌باشد سایر محصولات کشاورزی که نسبت به شالیکاری درصد سطح زیرکشت پایینی دارند،

[5] Hassani et al
[6]. Howitt *et al*
[7]. Rodríguez *et al*
[8] . Liu *et al*
[9] . Franco& Sumpsi
[10] . Asano Sustainability Index

www.SID.ir

Archive of SID

شامل غلات، سویا، کلزا، پنبه، علوفه، سبزیجات و صیفی-جات و باغات میوه می‌باشند (شاهنظری، ۱۳۹۴). براساس تقسیم‌بندی توزیع آب، واحدهای عمرانی شبکه مذکور را می‌توان به دو بخش بالادست و پایین دست تقسیم کرد. اراضی زراعی بالادست تحت پوشش سیستم آبیاری و زهکشی دشت تجن حدود ۱۴۴۱۳ هکتار و ارضی پایین دست تحت پوشش سیستم تجن حدود ۷۹۰۲ هکتار می باشد؛ که توسط واحدهای عمرانی ۱ تا ۴ شبکه آبیاری و زهکشی تجن، توزیع انتقال آب به این اراضی بالادست و پایین دست صورت می‌گیرد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۶). در شکل ۱ منطقـه مورد مطالعه شامل اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن نشـان داده شده است. در این شکل واحدهای عمرانی مختلف با رنگ‌های متفاوت نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- شمای کلی شبکه آبیاری و زهکشی تجن و اراضی تحت پوشش آن
منبع: شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۶

در حال حاضر شبکه آبیاری و زهکشی تجن، در توزیع آب کارآمد نبوده و میزان آب تحویلی به اراضی پایین دست با نیاز واقعی کشاورزان تطابق نداشته و در بعضی مسیرهای آبیاری نیز به مراتب کمتر است (حاجی زاده، ۱۳۹۴). این عدم تناسب و بی‌عدالتی در توزیع آب نه تنها باعث کاهش محصول بلکه سبب نارضایتی زارعینی که کمتر از نیاز خود آب دریافت کرده‌اند نیز گردیده است. مناطق پایین‌دست شبکه تجن به دلیل کمبود آب سطحی برای تأمین آب آبیاری مزارع خود به استفاده بیشتر از منابع آب زیرزمینی این مناطق روی آورده‌اند که به دلیل برداشت بیش از اندازه و فشار بیش ازحد به منابع آب‌زیرزمینی، موجب شور شدن آب چاه‌های واقع در مناطق پایین‌دست شده‌اند و در نتیجه رفاه کشاورزان و سطح زیرکشت محصولات زراعی در بسیاری از مناطق به دلیل مشکل تأمین آب کاهش یافته (در حدود ۳۹/۵ درصد کاهش سطح زیرکشت) و موجب تغییر کاربری اراضی از کشت غالب شده است (حاجی زاده، ۱۳۹۴).

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

در مطالعه حاضر، ابتدا به منظور بررسی وضعیت بیلان و پایداری منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی تجن، شاخص پایداری آسانو[11] (۲۰۰۶)، محاسبه گردید و وضعیت پایداری آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه مشخص شد. سپس به منظور مدیریت مصرف و توزیع آب شبکه آبیاری و زهکشی تجن بین اراضی زراعی بالادست و پایین دست تحت پوشش شبکه مذکور، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و اعمال سناریوهای سیاستی قیمتی و مقداری آب در مدل ریاضی استفاده شد و تغییرات منافع اقتصادی منطقه مورد مطالعه و الگوی کشت مناطق، مدیریت مصرف و توزیع بهینه آب بین اراضی زراعی بالادست و پایین دست تحت پوشش شبکه، ارزیابی گردید و سپس با توجه به نتایج بدست آمده حاصل از مصرف بهینه و صرفه جویی آب بالادست و اختصاص آن به اراضی پایین‌دست، مجدداً شاخص پایداری آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با توجه به کاهش برداشت از آب زیرزمینی محاسبه گردید و تغییر در وضعیت پایداری آب زیرزمینی بررسی شد.

بطور کلی مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به دو دسته مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری[12] و مدل‌های برنامه-ریزی ریاضی اثباتی تقسیم می‌گردند (صبوحی و الوانچی، ۱۳۸۷). در مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری، به حداکثرسازی تابع هدف با تاکید بر محدودیت‌های وارد شده به مدل انجام می‌پذیرد و هیچ تضمینی برای رسیدن به شرایط موجود وجود ندارد، ولی در مدل‌های برنامه‌ریزی اثباتی فرض می-شود که کشاورزان براساس قیمت محصول و نهاده‌ها و در شرایط موجود، بطور بهینه عمل می‌کنند. به این دلیل که کشاورزان در شرایط واقعی، تصمیماتشان را با لحاظ نمودن تمامی محدودیت‌هایی که بر فعالیت کشاورزی آن‌ها اثر گذار است می‌گیرند درحالیکه لحاظ نمودن تمامی محدودیت‌هایی که در شرایط واقعی وجود دارد در یک مدل ریاضی امکان پذیر و مقدور نمی‌باشد (هوویت، ۲۰۰۵؛ هوویت و همکاران، ۲۰۱۲).

الگوی برنامه‌ریزی اثباتی مطالعه حاضر طی چهار مرحله انجام و در نرم افزار گمز[13] (GAMS) پیاده شد. مرحله اول جمع‌آوری داده‌های سال پایه ۹۶-۱۳۹۵ است که شامل جمع‌آوری اطلاعات میزان سطح زیرکشت محصولات منتخب، تولیدات کشاورزی، هزینه‌های تولید، مصرف نهاده‌ها و قیمت محصولات می‌باشد. جامعه آماری مطالعه حاضر شامل کلیه کشاورزان تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن است که در اراضی خود به کشت محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای و برنج می‌پردازند (سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران، ۱۳۹۶). اطلاعات مورد نیاز بخش کشاورزی و تولید محصولات منتخب زراعی منطقه مورد مطالعه با مراجعه مستقیم به سازمان جهاد کشاورزی و استفاده از آمارنامه جهادکشاورزی و اطلاعات مورد نیاز مربوط به بخش منابع آب و میزان آب مصرفی محصولات در واحد سطح اراضی، از طریق مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران جمع‌آوری شدند.

مرحله دوم حل مدل برنامه‌ریزی خطی و تعیین مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها است. متغیرهای تصمیم در این مرحله سطوح زیرکشت محصولات (مقادیر x ها) و سود ناخالص می‌باشد به عبارتی دیگر، تابع هدف در این مرحله، حداکثر نمودن سود ناخالص مناطق بالادست و پایین دست اراضی زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن با توجه به محدودیت‌های منابع آب و زمین و محدودیت واسنجی می‌باشد (هوویت و همکاران[14]، ۲۰۰۵).

$$Max\ Z = \sum_{g=1}^{2}\sum_{p=1}^{4}(V_{gp}\,y_{gp} - \sum_{b\neq water}\alpha_{gpb}c_{gpb})x_{gpb} - \sum_{g=1}^{2}\sum_{w=1}^{2}Qw_{gw}\,Vw_{gw} \quad (۱)$$

محدودیت‌های مدل نیز شامل روابط زیر می باشند:

$$\sum_{p=1}^{4} x_{gp} \leq X_g \qquad \forall\ g = 1,2 \quad (۲)$$

[11]. Asano
[12] Normative Mathematical Programming(NMP)
[13] . General Algebraic Modeling System (GAMS)
[14] . Howitt et al

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{p=1}^{4} aw_{gi}\, x_{gp} \leq \sum_{w=1}^{2} Qw_{g.w} \qquad \forall\ g = 1,2 \tag{۳}$$

$$\sum_{w=1}^{2} Qw_{g.w} \leq \sum_{w=1}^{2} Sw_{g.w} \qquad \forall\ g = 1,2 \tag{۴}$$

$$x_{gp} \leq \tilde{x}_{gp} + \in \qquad \forall\ g = 1,2 \tag{۵}$$

رابطه ۱، تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی را نشان می‌دهدکه بیانگر حداکثرسازی مجموع سودهای زراعی منطقه‌ای برای اراضی زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن، با استفاده از بهینه‌سازی استفاده از آب می‌باشد که در آن p بیانگر محصولات عمده زراعی مناطق مورد مطالعه شامل گندم، ذرت علوفه‌ای و دو رقم برنج طارم و ندا و b بیانگر نهاده‌های بکاربرده شده در تولید محصولات زراعی شامل نهاده‌های زمین و آب، w منابع آب سطحی و زیرزمینی و g اراضی زراعی بالادست و پایین دست شبکه آبیاری و زهکشی تجن می‌باشد. همچنین V_{gp} بیان‌کننده قیمت محصولات زراعی در هر یک از اراضی، y_{gp} عملکرد محصولات در هر منطقه، C_{gpb} هزینه نهاده‌های به‌کاربرده شده برای تولید محصول در هر یک از اراضی مورد مطالعه، $Qw_{g.w}$مقدار برداشت آب در اراضی بالادست و پایین دست، $VW_{g.w}$ قیمت نهاده آب در اراضی و x_{gp} سطح زیرکشت محصول در هر یک از اراضی می‌باشد. رابطه ۲ محدودیت سطح زیرکشت را نشان می‌دهد. که X_g در آن کل سطح زیرکشت محصولات زراعی هر یک از مناطق بالادست و پایین دست اراضی زراعی تحت پوشش شبکه تجن را نشان می‌دهد. روابط ۳ و ۴ نیز محدودیت آب مورد استفاده و آب قابل دسترس برای کشت محصولات زراعی مناطق بالادست و پایین دست را بیان می‌کند. aw_{gp} نیاز آبی محصولات در هریک از اراضی می‌باشد که با استفاده از نرم افزار Netwat نیاز آبی محصولات در هر منطقه تعیین گردید و WS_{gw} مقدار آب عرضه شده در هریک از اراضی برای زراعت می‌باشند. رابطه ۵ نیز محدودیت واسنجی مدل است، که در آن $\tilde{x}_p$ سطح زیرکشت محصولات در سال پایه ۹۶-۱۳۹۵ و $\in$ مقدار مثبت بسیارکوچکی را نشان می‌دهد. به‌دلیل نیاز داشتن به مقدار کامل اطلاعات، سال ۱۳۹۴ با توجه به کامل بودن اطلاعات مورد نیاز مطالعه در این سال، به عنوان سال پایه درنظر گرفته شد.

مرحله سوم: تخمین تابع هزینه درجه دوم و تابع تولید با کشش جانشینی ثابت[15]

در این مرحله از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، تابع هزینه متغیر غیرخطی تخمین زده شد. تابع هزینه غیرخطی[16] مطالعه حاضر به صورت تابع هزینه درجه دوم[17] درنظرگرفته شده است که با استفاده از مقادیر قیمت‌های سایه‌ای یا ارزش‌های دوگان[18] بدست آمده از حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی مرحله قبل تعیین می‌شوند (مدلین-آزورا و همکاران[19]، ۲۰۱۰). تابع هزینه متغیر درجه دوم مورد استفاده در این مطالعه برای نهاده زمین به صورت زیر می‌باشد:

$$C_{pg} = \Omega_{pg} * X_{pg} - \frac{1}{2}\gamma_{pg} x_{pg}^2 \qquad \forall g,p \tag{۶}$$

در رابطه فوق، C_{pg} هزینه کل عامل تولید زمین برای تولید محصول P در هر منطقه، Ω_{pg} پارامتری است که برای نهاده زمین، براساس مجموع هزینه اجاره زمین در تولید *محصول* pامت سایه‌ای واسنجی شده زمین که از حل مدل برنامه-ریزی ریاضی خطی مرحله قبل حاصل می‌شود و حاصلضرب پارامتر γ_{pg} در سطح زیرکشت آن محصول در سال پایه بدست می‌آید. γ_{pg} پارامتر گاما است که تابعی از کشش عرضه هر محصول در هریک از اراضی g می‌باشد (مدلین-آزورا و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳).

تابع تولید CES برای تولید محصولات زراعی در

[15] . Constant Elasticity of Substitution
[16] . Nonlinear Cost Function
[17] . Quadratic Cost Function
[18] . Shadow Prices
[19] . Medellan-Azuara et al

www.SID.ir

Archive of SID

هر یک از اراضی بالادست و پایین دست به صورت رابطه ۷ بیان گردید.

$$y_{\mathrm{gp}} = \tau_{gi}\Big[\beta_{gi1}x_{gi1}^{\rho_i} + \beta_{gi2}x_{gi2}^{\rho_i} + \quad \dots \quad \dots + \beta_{gij}x_{gij}^{\rho_i}\Big]^{\eta/\rho_i} \qquad (۷)$$

در رابطه ۷، y_{gp} مقدار تولید هرمحصول در هر یک از اراضی زراعی مورد مطالعه، τ_{pg}پارامتر مقیاس برای هر محصول در هر یک از اراضی،β_{gb} سهم استفاده از نهاده‌ها در تولید هرمحصول در هر یک از اراضی، x_{gb} میزان به کارگیری هر نهاده در هر یک از اراضی در تولید هر محصول، η ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس تابع تولید CES و ρ که به صورت $\rho = \frac{\sigma-1}{\sigma}$ محاسبه شده و براساس کشش جانشینی محصول (σ) تعیین می‌گردد (هاویت و همکاران، ۲۰۱۲).

مرحله چهارم: تبیین برنامه نهایی بهینه‌سازی و اعمال سیاست‌ها

در این مرحله، مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی نهایی با استفاده از تابع هزینه درجه دوم و تابع تولید CES تخمین زده شده در مرحله قبل و محدودیت‌های منابع (آب و زمین) به صورت حداکثر سازی تابع هدف رابطه (۸) و بکارگیری محدودیت‌های ارائه شده در روابط ۲ الی ۴ می‌باشد. در مدل نهایی، تابع هدف، حداکثرسازی کل منافع اقتصادی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که به صورت تفاضل هزینه‌های مربوط به نهاده‌های عوامل تولید زمین، نیروی کار و آب از مجموع مازاد مصرف‌کننده و درآمد ناخالص زراعی اراضی مورد مطالعه بیان می‌گردد.

$$Max\ \varphi = \sum_p \Big(\vartheta\alpha_p^1\big(\sum_g y_{gp}\big) + \frac{1}{2}\alpha_p^2\big(\sum_g y_{gp}\big)^2\Big) - \sum_g\sum_p\Big(\Omega_{pg} * X_{pg} - \frac{1}{2}\gamma_{pg}x_{pg}^2\Big) - \sum_g\sum_p\big(C_{Lgp}L_{gp}\big) - \sum_{\mathrm{g}}\big(QW_gVW_g\big) \qquad (۸)$$

در رابطه ۸، ϑ پارامتر انتقال موازی در مقدار تقاضا با توجه به تغییر در فاکتورهای برونزا α_p^1 و α_p^2 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب منحنی معکوس تقاضا برای محصول، C_{Lgp} هزینه نیروی کار و L_{gp} تعداد نیروی کار مورد نیاز در هر یک از اراضی زراعی مورد مطالعه می‌باشند.

سیاست‌های مدیریت مصرف و توزیع آب شبکه

مورد مطالعه شامل افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی قیمت آب آبیاری و کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی توزیع آب آبیاری در اراضی بالادست تحت پوشش شبکه آبیاری تجن می‌باشد که اثر این سیاست‌های مدیریتی تقاضا بر منافع اقتصادی منطقه، میزان مصرف و صرفه‌جویی آب در اراضی بالادست و پایین دست تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی تجن ارزیابی و بررسی گردید.

به منظور بررسی میزان اثرگذاری سیاست‌های مدیریتی تقاضای آب (شامل سیاست قیمتی و مقداری آب) در بهبود مصرف آب در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی تجن و وضعیت پایداری آب زیرزمینی پایین دست آن، از شاخص پایداری آسانو (شاخص نسبت مصرف به آب تجدیدپذیر)[20]، (آسانو و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده شد.

در این راستا برای محاسبه آب تجدیدپذیر[21] از معادله بیلان منابع آب در اراضی تحت پوشش شبکه تجن استفاده شد و آب تجدیدپذیر براساس روابط ۹ الی ۱۱ تعیین گردید (تد و مایز[22]، ۲۰۰۵).

$$r - EP + RU_i - RU_o + GW_i - GW_o - C_{gw} - C_{sw} = \Delta s \qquad (۹)$$

$$RW = (RU + I) + (RU_i + GW_i) - (RU_o + GW_o) \qquad (۱۰)$$

$$RW = RW_{sw} + RW_{\mathrm{gw}} \qquad (۱۱)$$

در رابطه ۹، r میزان بارش، EP تبخیر و تعرق،GW_i و G_o به‌ترتیب حجم ورودی و خروجی آب زیرزمینی، RU_i و RU_o به ترتیب رواناب ورودی و خروجی، C_{sw}و C_{gw} به‌ترتیب مصرف آب سطحی و زیرزمینی و Δs معرف تغییرات ذخیره آب می‌باشد. در روابط ۱۰ و ۱۱ نیز RW: آب تجدیدپذیر، I : مقدار آب

[20] . Consumption/Renewable water
[21] . Renewable water
[22] . Todd and Mays

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذ یافته به منابع آب که از تفاضل مقدار بارندگی از حجم تبخیر و تعرق و رواناب سطحی بدست می‌آید. (RW_{sw}) و (RW_{gw}) به ترتیب سهم آب‌های سطحی و سهم آب‌های زیرزمینی از منابع آب تجدید پذیر می‌باشند (تد و مایز، ۲۰۰۵).

مقدار مصرف آب نیز براساس رابطه ۱۲، محاسبه می‌شود:

$$C = \left(E_{sw} + E_{gw}\right) - \mathrm{I_r} \qquad (۱۲)$$

که در آن:

C مقدار مصرف آب، E_{sw} مقدار برداشت از منابع آب سطحی، E_{gw} میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و I_{r} حجم آب برگشتی را بیان می‌کنند. طبق نظر کارشناسان، در منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰ درصد از آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی به عنوان آب برگشتی درنظرگرفته شد. جدول ۱ مقادیر استاندارد بین المللی نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر در تعیین وضعیت پایداری منابع آب را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر استاندارد بین المللی نسبت مصرف آب به آب تجدید پذیر ($\frac{C}{RW}$) (آسانو و همکاران، ۲۰۰۶)

وضعیت پایداری منابع آب	مقدار نسبت ($\frac{C}{RW}$)
خوب	کمتر از ۰/۴
بحرانی	۰/۷-۰/۴
بحرانی شدید	۱-۰/۷
عدم تعادل بیلان	بیشتر از ۱

جدول ۲- اثرات اعمال سیاست قیمتی آب آبیاری بر سطح زیرکشت و منافع اقتصادی مناطق بالادست و پایین دست

محصول	الگوی سال پایه (هکتار)		میزان تغییرات	افزایش قیمت آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف					
				٪۱۰		٪۲۰		٪۳۰	
	بالادست	پایین دست		بالادست	پایین دست	بالادست	پایین دست	بالادست	پایین دست
گندم	۱۱/۱۰	۷۵۸/۷۳	میزان	۱۱/۰۸	۷۵۸/۱۰۹	۱۱/۰۶	۷۵۷/۴۸	۱۱/۰۵	۷۵۶/۸۵
			درصد	-۰/۱۷	-۰/۰۸	-۰/۳۳	-۰/۱۷	-۰/۵۰	-۰/۲۵
ذرت علوفه‌ای	۲/۴۰	۱۳۷۵/۶۰	میزان	۲/۳۹	۱۳۷۵/۰۶	۲/۳۹	۱۳۷۴/۵۲	۲/۳۹	۱۳۷۳/۹۸
			درصد	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۰۸	-۰/۲۱	-۰/۱۲
برنج طارم	۱۱۵۱۹/۶۰	۴۶۱۳/۹۰	میزان	۱۱۱۵۰۹/۱۰	۴۶۱۴/۹۱	۱۱۴۹۸/۶۳	۴۶۱۵/۹۰	۱۱۴۸۸/۱۴	۴۶۱۶/۸۰
			درصد	-۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۱۸	۰/۰۴	-۰/۲۷	۰/۰۶
برنج ندا	۲۸۷۹/۹۰	۱۱۵۳/۵۰	میزان	۲۸۷۳/۹۳	۱۱۵۳/۰۹	۲۸۶۷/۹۶	۱۱۵۲/۶۷	۲۸۶۱/۹۹	۱۱۵۲/۲۶
			درصد	-۰/۲۱	۰/۰۱	-۰/۴۱	۰/۰۱	-۰/۶۲	۰/۰۲
مجموع اراضی	۱۴۴۱۳/۰۱	۷۹۰۱/۷۰	میزان	۱۴۳۹۶/۵۳	۷۹۰۱/۱۱	۱۴۳۸۰/۰۵	۷۹۰۰/۵۰	۱۴۳۶۳/۵۸	۷۸۹۹/۹۰
			درصد	-۰/۱۱	-۰/۰۱	-۰/۲۳	-۰/۰۲	-۰/۳۴	-۰/۰۲
منافع اقتصادی منطقه*	۵۸۵۸۴۰۰	۳۵۲۳۶۰۰	میزان	۵۸۴۹۲۰۰	۳۵۲۳۹۰۰	۵۸۴۰۰۰۰	۳۵۲۴۳۰۰	۵۸۳۰۸۰۰	۳۵۲۴۷۰۰
			درصد	-۰/۱۶	۰/۰۰۹	-۰/۳۱	۰/۰۲	-۰/۴۷	۰/۰۳۱

* منافع اقتصادی منطقه بر حسب میلیون ریال می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول ۲ نتایج مدل برنامه‌ریزی اثباتی با اعمال سیاست قیمتی مدیریت تقاضای آب شبکه آبیاری و زهکشی تجن در اراضی بالادست و پایین دست تحت پوشش شبکه تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش قیمت آب آبیاری نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲، ملاحظه می‌شود که در اثر افزایش قیمت آب آبیاری در بالادست، از ۱۰ تا ۳۰ درصد سطح زیرکشت کلیه محصولات بالادست نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. محصول برنج ندا با ۰/۶ درصد کاهش سطح بیشترین و

www.SID.ir

Archive of SID

محصول ذرت علوفه ای با ۰/۲۱ درصد کاهش سطح، کمترین تغییرات را در الگوی کشت بالادست شبکه تجن به خود اختصاص می‌دهند. همچنین سطح زیرکشت گندم، ذرت و برنج ندا در پایین دست طی همه الگوها نسبت به سال پایه کاهش خواهد داشت. محصول گندم با ۰/۲۵ درصد کاهش سطح، بیشترین و محصول برنج ندا با ۰/۱۱ درصد کاهش سطح، کمترین تغییرات را در الگوی کشت پایین دست شبکه تجن به خود اختصاص می‌دهند. برنج طارم در پایین دست، با افزایش در الگوی کشت مواجه خواهد بود. تغییرات الگوی کشت پس از شبیه‌سازی حاکی از آن است که میزان پذیرش کشاورزان این شبکه در اعمال سناریوهای افزایش قیمت آب آبیاری برای محصولات مختلف متفاوت و تاثیر آن بسیار کم می‌باشد. به طور کلی، با توجه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که با افزایش قیمت آب آبیاری در اراضی بالادست به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد، مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی بالادست ۰/۱۱ تا ۰/۳۴ درصد نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد. افزون بر آن، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ۱۰ تا ۳۰ درصدی قیمت آب آبیاری و کاهش مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی، منافع اقتصادی این اراضی، ۰/۱۶ تا ۰/۴۷ درصد نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد. علت کاهش منافع اقتصادی می‌تواند به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصولات منتخب زراعی باشد. در واقع، با افزایش قیمت هر مترمکعب آب آبیاری نسبت به شرایط سال پایه، کشاورزان از توزیع نهاده آب بین فعالیت‌هایی که نیازآبی بالایی دارند، می‌کاهند و بیشتر به سمت کشت محصولاتی که نیاز آبی کمتری دارند متمایل می‌شوند. همانگونه که در جدول ۲ ملاحظه شد، کشاورزان پایین دست نیز به تغییرات قیمتی آب عکس‌العمل زیادی نشان نمی‌دهند. می‌توان گفت با افزایش قیمت آب آبیاری در بالادست به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد، مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی را بسیار اندک تغییر داده و منافع اقتصادی پایین دست شبکه را ۰/۰۳۱ درصد نسبت به شرایط سال پایه افزایش می‌دهد؛ که علت افزایش آن را می‌توان در کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی کم بازده و افزایش سطح زیرکشت برنج که درآمد بالاتری دارد جستجو کرد. در واقع، با افزایش قیمت هر مترمکعب آب آبیاری در بالادست نسبت به شرایط سال پایه، کشاورزان پایین دست به توزیع نهاده آب بین فعالیت‌هایی که نیازآبی بالایی داشته و در عین حال سود بالاتری نیز دارند، خواهند پرداخت.

اثر افزایش قیمت آب آبیاری بر میزان آب مصرفی برای کشت محصولات زراعی در اراضی بالادست شبکه تجن و حجم آب صرفه‌جویی شده در جدول ۳، نشان داده شده است.

جدول ۳- میزان آب مصرفی و صرفه‌جویی شده پس از افزایش قیمت آب در بالادست (هزار مترمکعب)

محصول	آب مصرفی در سال پایه	میزان تغییرات	حجم آب مصرفی با افزایش قیمت آب آبیاری		
			٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰
گندم	۱۹/۳	میزان	۱۹/۲۷	۱۹/۲۳	۱۹/۲۰
		درصد	-۰/۱۷	-۰/۳۳	-۰/۵
ذرت علوفه ای	۱۴/۱۶	میزان	۱۴/۱۵	۱۴/۱۴	۱۴/۱۳
		درصد	-۰/۰۸	-۰/۱۲	-۰/۲۱
برنج طارم	۱۰۳۶۷۶/۴	میزان	۱۰۳۵۸۲/۰۴	۱۰۳۴۸۷/۶۷	۱۰۳۳۹۳/۳۱
		درصد	-۰/۰۹	-۰/۱۸	-۰/۲۷
برنج ندا	۳۱۶۷۸/۹	میزان	۳۱۶۱۳/۲۴	۳۱۵۴۷/۶۲	۱۳۴۹۰۸/۵۵
		درصد	-۰/۲۱	-۰/۴۱	-۰/۶۲
جمع آب مصرفی	۱۳۵۳۸۸/۷۶	میزان	۱۳۵۲۲۱/۸	۱۳۵۰۴۵/۸۲	۱۳۴۸۴۹/۸۲
		درصد	-۰/۱۲	-۰/۲۴	-۰/۳۵
حجم آب صرفه‌جویی شده			۱۶۰/۰۷	۳۲۰/۱۴	۴۸۰/۲۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، افزایش قیمت آب آبیاری به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد منجر به کاهش مصرف آب در سطح مزارع کلیه محصولات منتخب زراعی بالادست تحت پوشش شبکه تجن می‌شود؛ به عبارت دیگر، نتایج گویای آن است که با افزایش قیمت آب آبیاری، حجم آب مصرفی برای کلیه محصولات الگو کاهش می‌یابد. با افزایش قیمت آب آبیاری به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد، حجم آب صرفه‌جویی شده در الگوی کشت از ۱۶۰ به ۴۸۰ هزار مترمکعب می‌رسد. البته با توجه به مقادیر جدول ۳ با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب، مصرف آب تنها ۰/۳۵ درصد کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت سیاست افزایش قیمت آب، کارایی لازم را در کاهش مصرف آب ندارد و تنها درآمد دولت افزایش می‌یابد. دولت با استفاده از این درآمد می‌تواند برای کارهای زیربنایی سرمایه‌گذاری کرده و به بهبود بهره‌وری آب کمک نماید.

میزان آب مصرفی برای کشت محصولات زراعی پایین دست شبکه تجن و حجم آب صرفه‌جویی شده در اثر افزایش قیمت آب آبیاری در جدول ۴، نشان داده شده است.

جدول ۴- میزان آب مصرفی و صرفه‌جویی شده پس از افزایش قیمت آب بالادست در اراضی پایین دست (هزار مترمکعب)

محصول	آب مصرفی در سال پایه	میزان تغییرات	حجم آب مصرفی با افزایش قیمت آب آبیاری		
			٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰
گندم	۱۳۱۸/۶۸	میزان	۱۳۱۷/۶۰	۱۳۱۶/۵۰	۱۳۱۵/۴۰
		درصد	-۰/۰۸	-۰/۱۷	-۰/۲۵
ذرت علوفه ای	۸۱۱۶/۰۴	میزان	۸۱۱۶/۸۵	۸۱۰۹/۶۶	۸۱۰۶/۴۷
		درصد	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۱۲
برنج طارم	۴۱۵۲۵/۱	میزان	۴۱۵۳۳/۹	۴۱۵۴۲/۸	۴۱۵۵۱/۶
		درصد	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶
برنج ندا	۱۲۶۸۸/۵	میزان	۱۲۶۸۳/۹	۱۲۶۷۹/۴	۱۲۶۷۴/۳۳
		درصد	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۱۱
جمع آب مصرفی	۶۳۶۴۸/۳۲	میزان	۶۳۶۴۸/۳۲	۶۳۶۴۸/۳۳	۶۳۶۴۸/۳۳
		درصد	۰/۰	۰/۰	۰/۰
حجم آب صرفه‌جویی شده			۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با افزایش قیمت آب آبیاری در بالادست به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد، هیچ حجمی از آب در اراضی پایین دست صرفه‌جویی نخواهد شد. با توجه به مقادیر جدول فوق با افزایش ۳۰ درصدی قیمت آب، مصرف آب را کاهش نخواهد داد. لذا می‌توان گفت سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری در این منطقه مناسب نبوده و باید سیاست‌های دیگر بررسی شود. با توجه به این که در بالادست شبکه تجن آب بسیار زیاد بوده و کشاورزان و ساکنان بالادست، آب را در فعالیت‌هایی نظیر آبزی پروری نیز استفاده می‌کنند، مقدار آب در پایین دست کمتر شده و این کاهش آب منجر به استفاده کشاورزان پایین دست از آب زیرزمینی شده و تراز آب زیرزمینی این منطقه کاهش یافته است. در ادامه این مساله بررسی می شود که کاهش آب در اراضی بالادست شبکه تجن چه تاثیری بر سطح زیرکشت، مقدار مصرف آب اراضی بالادست و پایین دست و به دنبال آن پایداری آب زیرزمینی اراضی پایین دست خواهد گذاشت. بدین صورت مقدار آب در بالادست در سه سناریو ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش یافته و مقدار آب پایین دست نیز به همین مقدار افزایش می‌یابد و سپس اثر آن بر الگوی کشت و مقدار آب بالادست و پایین دست بررسی می‌شود. هم اکنون ۶۰ درصد آب شبکه تجن در بخش کشاورزی بالادست و ۴۰ درصد آن در بخش کشاورزی پایین دست مورد استفاده قرار می گیرد. حال اگر مقدار آب در دسترس کشاورزان بالادست کاهش یافته و این آب برای تغذیه آب زیرزمینی پایین دست استفاده شود و منجر به کاهش برداشت از آب

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی منطقه گردد، باید دید چه تغییراتی را منجر می-شود.

جدول ۵- اثرات کاهش مقدار آب در دسترس بر سطح زیرکشت و منافع اقتصادی بالادست

محصول	الگوی سال پایه (هکتار)		میزان تغییرات	کاهش مقدار آب تحت سناریوهای مختلف					
				٪۱۰		٪۲۰		٪۳۰	
	بالادست	پایین دست		بالادست	پایین دست	بالادست	پایین دست	بالادست	پایین دست
گندم	۱۱/۱۰	۷۵۸/۷۴	میزان	۹/۸۷	۷۱۷/۰۳	۸/۲۶	۶۶۲/۷۴	۶/۶۶	۶۰۸/۴۶
			درصد	-۱۱/۱	-۵/۵	-۲۵/۵۷	-۱۲/۶۵	-۴۰/۰۲	-۱۹/۸۱
ذرت	۲/۴	۱۳۷۵/۶	میزان	۲/۲۹	۱۳۳۹/۶۲	۲/۱۶	۱۲۹۲/۸	۲/۰۳	۱۲۴۵/۹۷
			درصد	-۴/۲۵	-۲/۶۲	-۹/۸۳	-۶/۰۲	-۱۵/۳۸	-۹/۴۲
برنج طارم	۱۱۵۱۹/۶	۴۶۱۳/۹	میزان	۱۰۸۲۲/۰۷	۴۶۷۹/۱۸	۹۹۱۴/۲۱	۴۷۶۴/۱۵	۹۰۰۶/۳۲	۴۸۴۹/۱۱
			درصد	-۶/۰۶	۱/۴۱	-۱۳/۹۴	۳/۲۶	-۲۱/۸۲	۵/۱
برنج ندا	۲۸۷۹/۹	۱۱۵۳/۵	میزان	۲۴۸۲/۷۸	۱۱۲۵/۹۸	۱۹۶۵/۹۱	۱۰۹۰/۱۵	۱۴۴۹/۰۷	۱۰۵۴/۳۲
			درصد	-۱۳/۷۹	-۲/۳۹	-۳۱/۷۴	-۵/۴۹	-۴۹/۶۸	-۸/۶
مجموع اراضی	۱۴۴۱۳/۰۰۴	۷۹۰۱/۷	میزان	۱۳۳۱۷/۰۳	۷۸۶۱/۸	۱۱۸۹۰/۵۵	۷۸۰۹/۸	۱۰۴۶۴/۰۷	۷۷۵۷/۹
			درصد	-۷/۶	-۰/۵۱	-۱۷/۵	-۱/۱۸	-۲۷/۴	-۱/۸۲
منافع اقتصادی منطقه*	۵۸۵۸۴۰۰	۳۵۲۳۶۰۰	میزان	۵۶۷۷۵۰۰	۳۵۴۸۲۰۰	۵۳۸۷۵۰۰	۳۵۷۸۶۰۰	۵۰۳۵۵۰۰	۳۶۰۷۱۰۰
			درصد	-۳/۰۹	۰/۷	-۸/۰۴	۱/۵۶	-۱۴/۰۵	۲/۳۷

* منافع اقتصادی منطقه بر حسب میلیون ریال می‌باشد.

با توجه به جدول ۵، ملاحظه می‌شود که در اثر کاهش مقدار آب آبیاری تحت سناریوهای ۱۰ تا ۳۰ درصد در اراضی بالادست شبکه تجن و با ثابت بودن سایر متغیرها از جمله هزینه‌ها و قیمت محصولات، تغییرات مختلفی بر الگوی کشت ایجاد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، افزایش سطح زیرکشت همه محصولات زراعی پس از اجرایی شدن کاهش مقدار آب آبیاری کم خواهد شد. در همه سناریوها برنج ندا بیشترین کاهش را در سطح زیرکشت اراضی بالادست داشته و از ۱۴ درصد تا ۵۰ درصد کاهش سطح زیرکشت خواهد داشت. از طرفی کمترین کاهش سطح زیرکشت مربوط به ذرت علوفه ای بوده و تحت سه سناریو از چهار درصد کاهش به ۱۵ درصد کاهش سطح زیرکشت خواهد رسید.

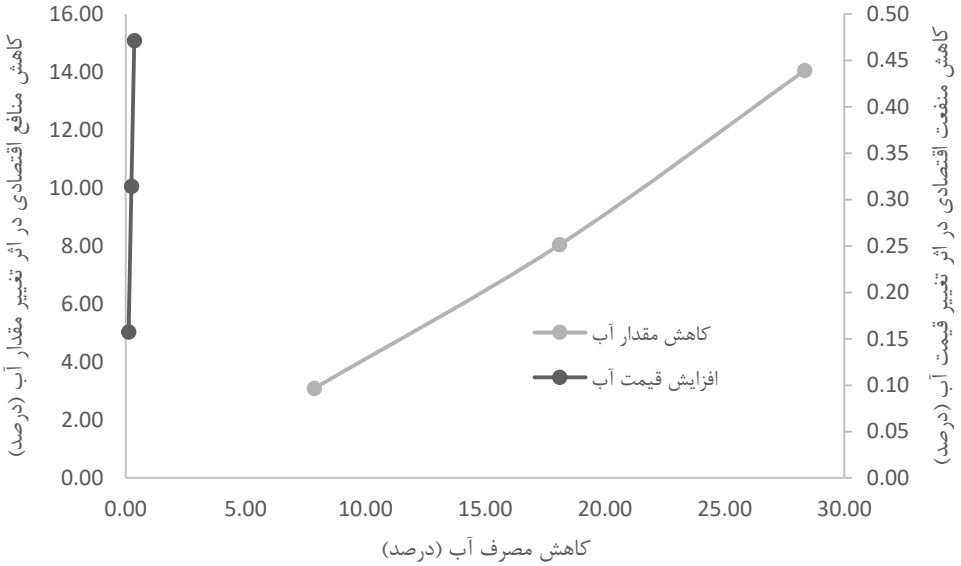
مطابق جدول ۵، اثر کاهش مقدار آب بالادست بر اراضی پایین دست شبکه تجن نیز نشان می دهد که با افزایش آب آبیاری پایین دست، سطح زیرکشت همه محصولات بجز برنج طارم کاهش می‌یابد. بالاترین کاهش در سطح زیرکشت برای محصول گندم است که قیمت پایین تری نسبت به سایر محصولات در منطقه دارد. کمترین کاهش نیز برای برنج ندا می باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش بیشتر مقدار آب، برنج طارم نیز شروع به افزایش سطح زیرکشت می‌کند به طوری که با افزایش ۳۰ درصدی مقدار آب، سطح زیرکشت از ۴۶۱۴ به ۴۸۴۹ هکتار در افزایش ۳۰ درصدی می‌رسد. در کل با کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی مقدار آب بالادست، مجموع کل اراضی زراعی در بالادست شبکه تجن حدود ۸ تا ۲۷ درصد و اراضی پایین دست در سه سناریو از ۰/۵۱ درصد به ۱/۸۲ درصد کاهش می‌یابد؛ و منفعت اقتصادی بالادست نیز از ۳ درصد به ۱۴ درصد کاهش ولی منفعت اقتصادی پایین دست شبکه تجن، در همه سناریوها افزایش حدود دو درصدی خواهد داشت.

لذا می‌توان گفت سیاست کاهش مقدار آب در بالادست نسبت به سیاست قیمتی آب در این منطقه، تاثیر بیشتری بر تغییر سطح زیرکشت و تغییر منافع اقتصادی هر دو منطقه خواهد داشت. میزان اثر گذاری دوسیاست افزایش قیمت آب و کاهش مقدار آب در دسترس اراضی

www.SID.ir

Archive of SID

بالادست شبکه تجن بر کاهش مقدار آب مصرفی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مطالعه حاضر با مطالعات معین الدینی و همکاران (۱۳۹۴)، جلیل پیران (۱۳۹۱) و مظفری (۱۳۹۴) در اثر گذاری مثبت سیاست‌ها بر کاهش آب مصرفی مطابقت و مشابهت دارد.



شکل ۳- اثر کاهش مقدار آب و افزایش قیمت اب بر منافع اقتصادی و مصرف آب

با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت، هنگامی که مقدار آب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش می یابد، منافع اقتصادی بالادست نیز کم می شود ولی این مقدار کاهش منافع اقتصادی نسبت به سناریوی افزایش قیمت آب بسیار بیشتر است. در خط مشکی که کاهش منافع اقتصادی و مصرف آب نسبت به تغییرات قیمت آورده شده است مشاهده می شود منافع اقتصادی بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ تغییر کرده و کاهش مصرف آب بسیار اندک بوده است ولی در خط طوسی رنگ که تغییرات مقدار آب می باشد، با کاهش مقادیر آب منافع اقتصادی بین ۳ تا ۱۴ درصد تغییر خواهد کرد. لذا باید گفت کاهش مقدار آب بر پایداری منابع آب تاثیر بیشتری گذاشته و از این جهت سیاست بهتری خواهد بود. براساس نتایج دست آمده از اثر سیاست‌های مختلف افزایش قیمت و کاهش مقدار آب اراضی بالادست بر مصرف آب زیرزمینی اراضی پایین دست شبکه تجن، وضعیت پایداری آب زیرزمینی منطقه براساس نسبت مصرف به آب تجدیدپذیر آب زیرزمینی در شرایط جدید، تعیین گردید. در شرایط کنونی مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی ۵۷۹ میلیون مترمکعب است. این در حالی است که با استفاده از الگوی کشت بهینه تخمین زده شده، مصرف آب کشاورزی ۴۴۴ میلیون مترمکعب می شود.

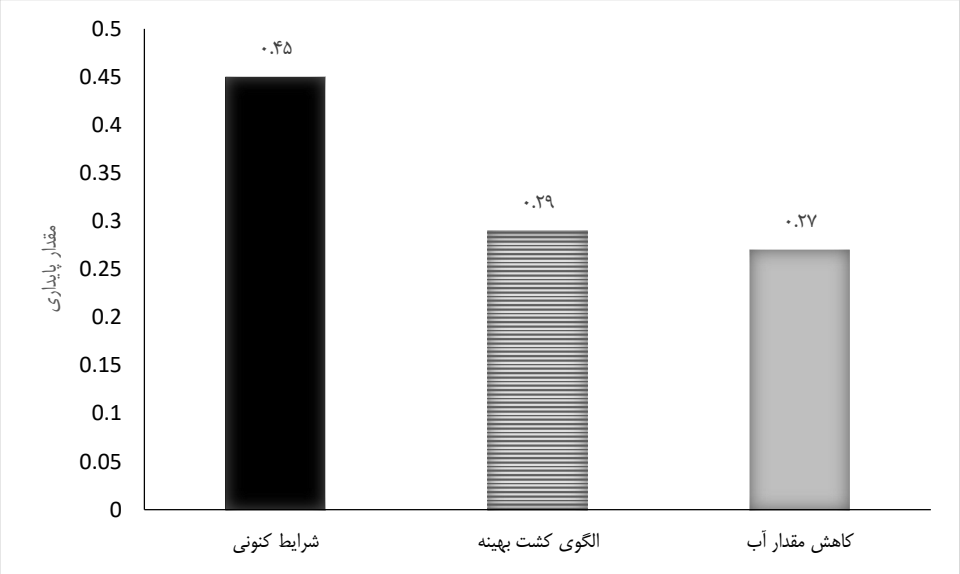
در شرایط کنونی مقدار مصرف آب به مقدار آب تجدیدپذیر ۰/۴۵ بوده که با توجه به جدول ۱، این منطقه در شرایط بحرانی قرار می‌گیرد. در شکل زیر مقادیر آب مصرفی به آب تجدیدپدیر در شرایط مختلف آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- بیلان آب در شرایط کنونی و با الگوی کشت فعلی در شبکه تجن

عوامل بیلان	تخلیه (میلیون مترمکعب)	تغذیه (میلیون مترمکعب)
مصرف کشاورزی	۵۷۹	
مصرف شرب	۴۵	
مصرف صنایع	۳	
زیرزمینی خروجی	۸/۹	
زیرزمینی ورودی		۲۸/۷
رواناب خروجی	۱۰۰/۵	
رواناب ورودی		۱۵۵۲/۰۷
تبخیر	۱۱۷۵/۴۶	
بارندگی		۷۹۷/۱۸
مجموع	۱۹۱۱/۸۶	۲۳۷۷/۹۵
تغییرات ذخیره آب در شبکه	۴۶۶/۰۹	



شکل ۴- مقادیر مصرف به آب تجدیدپذیر در شرایط مختلف

همان طور که شکل ۴ نشان می دهد، در شرایط کنونی میزان مصرف آب به آب تجدیدپذیر ۰/۴۵ می باشد. حال اگر برطبق الگوی کشت پیشنهادی توسط الگوی حاضر عمل شود مقدار آب مصرفی به میزان آب تجدیدپذیر ۰/۲۹ خواهد شد که منطقه را از شرایط بحرانی خارج خواهد کرد. حال اگر مقدار آب در دسترس کشاورزان بالادست به ۳۰ درصد کاهش یابد و به پایین دست اضافه شود این نسبت به ۰/۲۷ نیز خواهد رسید. لذا با کمی کاهش مصرف آب می توان شرایط را بهبود بخشیده و به پایداری و توسعه بین نسلی آب دست یافت. نتایج مطالعات خوش روش و همکاران (۱۳۹۶) و باریکانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز افزایش ذخیره در آب حوضه و تاثیر سیاست‌ها بر پایداری منابع آب را تایید می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه به منظور بررسی پایداری آب و اثر سیاست‌های افزایش قیمت آب و کاهش مقدار آب در بالادست شبکه آبیاری تجن بر پایداری آب زیرزمینی، منافع اقتصادی و میزان مصرف آب در بالادست و پایین دست شبکه تجن از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و شاخص پایداری آسانو استفاده شد. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که منابع آب منطقه مورد مطالعه در وضعیت بحرانی قرار دارد. به منظور بهبود وضعیت پایداری آب زیرزمینی در مصارف آب کشاورزی، سیاست‌های قیمتی و مقداری بررسی شد. در اثر افزایش قیمت آب آبیاری از ۱۰ تا ۳۰ درصد، باوجود کاهش در منافع اقتصادی منطقه، صرفه جویی مصرف آب به دلیل کاهش سطح زیرکشت کلیه محصولات شبکه تجن نسبت به الگوی کشت پایه، استفاده از آب را به صورت پایدار در خواهد آورد و پایداری آب زیرزمینی منطقه را دروضعیت مناسب‌تری قرار خواهد داد. همچنین نتایج نشان داد که پس از اجرایی شدن سیاست کاهش مقدار آب در دسترس اراضی زراعی بالادست، مصرف آب آبیاری کم شده و در بالادست سطح زیرکشت و منافع اقتصادی منطقه کاهش می‌یابد. ولی در پایین دست علی رغم کاهش سطح زیرکشت به دلیل افزایش سطح زیرکشت محصول برنج طارم، منافع اقتصادی منطقه زیاد می‌شود. بررسی مقایسه کاهش منافع اقتصادی و میزان مصرف آب در سیاست افزایش قیمت آب نشان داد که صرفه جویی و کاهش مصرف آب نسبت به کاهش منافع اقتصادی کمتر بوده است و تاثیر کمتری بر صرفه جویی آب اراضی بالادست و بهبود وضعیت آب اراضی پایین دست خواهد گذاشت؛ اما در سیاست کاهش مقادیر آب در اراضی بالادست، بهبود وضعیت آب اراضی پایین دست نسبت به کاهش منافع اقتصادی منطقه افزایش داشت و مقدار صرفه جویی آب نسبت به کاهش منافع اقتصادی بیشتر شد. لذا باید گفت کاهش مقدار آب بر پایداری منابع آب تاثیر بیشتری گذاشته و از این جهت سیاست بهتری خواهد بود.

سیاست کاهش مقدار آب در دسترس کشاورزان بالادست، تأثیر مناسبی بر پایداری و حفاظت از آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. لذا، برای کاهش استفاده از منابع آب دردسترس و بهبود توزیع آب حذف شده اراضی بالادست به کشاورزان پایین دست، ساز و کارهایی ایجاد شود.

براساس نتایج تحقیق حاضر، الگوی پیشنهادی به منافع اقتصادی بالاتری نسبت به شرایط کنونی منطقه منجر می‌شود. لذا شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهادکشاورزی با درنظرگرفتن الگوی تحقیق حاضر می‌توانند باعث افزایش سطح درآمدی ذینفعان شبکه علاوه بر پایداری منابع آب منطقه گردند.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از طرح پژوهشی با کد ۱۱-۱۳۹۷-۰۲ است که با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت گرفته است که بدینوسیله از آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. احسانی م.، دشتی ق.، حیاتی ب. و قهرمان زاده م، ۱۳۸۹. برآورد ارزش اقتصادی آب شبکه آبیاری دشت قزوین: کاربرد رهیافت دوگان. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد۲۵، شماره ۲، صفحه‌های ۲۳۷-۲۴۵.

۲. اذریان م، ۱۳۹۶. تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری در شهرستان‌های منتخب استان سیستان و بلوچستان. پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد، اقتصاد کشاورزی، استاد راهنما: محمود احمدپور برازجانی، دانشگاه زابل.

۳. امیرتیموری س. و باقرزاده آ، ۱۳۸۷، بررسی جایگاه آب در کشاورزی ایران و قیمت گذاری آن، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تبریز، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز

www.SID.ir

Archive of SID

۴. امیرنژاد ح.، فاضلیان س. و حسینی یکانی ع، ۱۳۹۶. تعیین ارزش اقتصادی آب در تولید برنج مرغوب و پرمحصول (مطالعه موردی دشت بهشهر استان مازندران)، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۳، صفحه‌های ۲۴۱-۲۶۰.

۵. باریکانی ا.، احمدیان م. و خلیلیان ص، ۱۳۹۰. بهرهبرداری بهینه پایدار از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی: مطالعه موردی زیربخش زراعت دشت قزوین، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵۳- ۲۶۲.

۶. بخشی ع.، دانشور کاخکی م. و مقدسی ر، ۱۳۹۰. کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه‌های ۲۸۴-۲۹۴.

۷. پرهیزکاری ا. و صبوحی م، ۱۳۹۳. تحلیل اقتصادی اثرات توسعه تکنولوژی و مکانیزاسیون بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۵، شماره ۴، صفحه‌های ۱-۲۳.

۸. پرهیزکاری ا.، صبوحی م.، احمدپور م. و بدیع برزین ح، ۱۳۹۳. شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب ابیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل). مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱۶۴-۱۷۶.

۹. ترکمانی ج.، سلطانی غ. و اسدی ه، ۱۳۷۷. تعیین آب بها و بررسی ارزش بازده نهایی آب کشاورزی. آب و توسعه. فصلنامه امور آب و وزارت نیرو، جلد ۶، شماره ۱، صفحه‌های ۵-۱۳.

۱۰. جلیل پیران، ح، ۱۳۹۱. نقش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب، مجله اقتصادی، شماره ۲، صفحه‌های ۱۱۹-۱۲۸.

۱۱. حاجی زاده ر، ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد ومیزان عدالت در توزیع آب توسط شاخص هیدرومدول : مطالعه موردی بر روی کانال اصلی واحد عمرانی یک شبکه تجن. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد. مهندسی آب گرایش رشته آبیاری و زهکشی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۱۲. حافظ پرست م. و فاطمی احسان، ۱۳۹۵. محاسبهٔ شاخص،های پایداری آب و پایداری حوضهٔ آبریز در راستای حفظ توسعهٔ پایدار (مطالعهٔ موردی :حوضهٔ آبریز گاماسیاب)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۱۸، صفحه‌های ۲۱-۳۳.

۱۳. حجی پور م.، ذاکری نیا م.، ضیایی ع. و حسام م، ۱۳۹۴. مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی و تأثیر آن بر منابع آب دشت بجنورد به کمک اتصال مدل‌های WEAP و .MODFLOW مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۴، صفحه‌های ۸۵-۱۰۱.

۱۴. خوش روش م و ولی زاده م، ۱۳۹۶. اثرات احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد مخزنی شهید رجایی روی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت ساری- نکا. نشریه علوم آب و خاک، سال ۲۱، شماره ۲. صفحه‌های ۱- ۱۴.

۱۵. روحانی س.، پیکانی غ. و تقدیری ب، ۱۳۸۶. تعیین الگوی زراعی بهینه با تاکید بر پایداری منابع آب: مطالعه موردی دشت بهار-همدان. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۷، شماره ۱، صفحه‌های ۸۵-۹۶.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۶. زارع ش، محمدی ح و صبوحی م، ۱۳۹۶. شبیه‌سازی توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان رضوی، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۳۱، شماره ۲، صفحه‌های ۱۷۹-۱۹۵.

۱۷. شاهنظری ع، ۱۳۹۴. مطالعات یکپارچه‌سازی و تهیه سیستم تصمیم‌یار (DSS) منابع و مصارف آب به منظور بهینه‌سازی منابع و مصارف آب در استان مازندران. وزارت نیرو. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران. مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب. جلد پنجم.

۱۸. صبوحی م. و الوانچی م، ۱۳۸۷. کاربرد برنامه ریزی چند منظوره و توافقی در برنامه ریزی زراعی: مطالعه موردی خراسان رضوی، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۵، جلد ۳، صفحه‌های ۱-۱۵.

۱۹. عزیزی ج. و یزدانی س، ۱۳۸۳. تعیین مزیت نسبی محصولات عمده باغبانی ایران. اقتصاد کشاورزی و توسعه، جلد ۱۲، شماره ۴۶، صفحات ۴۱-۷۲.

۲۰. مظفری م، ۱۳۹۴. تعیین برنامه سیاستی مناسب برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۲۹-۴۵.

۲۱. وزارت نیرو، ۱۳۹۵. مبانی تعیین آب‌بها، حق‌النظاره و حق اشتراک، سازمان مدیریت منابع آب ایران، معاونت امور آب، وزارت نیرو.

۲۲. وزارت نیرو، سازمان آب منطقه ای استان مازندران، ۱۳۹۷. گزارش منابع آب زیرزمینی دشت تجن. واحد تحقیقات و مطالعات پایه آب زیرزمینی.

23. Asano T., Burton F., Leverenz H., Tsuchihashi R. and Tchobanoglous G, 2006. Water reuse: issues, technologies and applications. Publisher: McGRAW-HILL.

24. Caii X.M. and Rosegrant M.W, 2004. Irrigation technology choices under hydrologic uncertainty: case study from Maipo River Basin, Chile. Water Resources Research, Pp: 40.

25. Hassani, y., Hashemy Shahdany, M., Zahraiee, B., Ghorbani., S, and RastegariHenneberryg, S, 2019. An economic-operational framework for optimum agricultural water distribution in irrigation districts without water marketing. Agricultural Water Management, 221, 348-361.

26. He L., Tyner W.E., Doukkali R. and Siam G, 2006. Policy options to improve water allocation efficiency: analysis on Egypt. Water International, 31, 320–337.

27. Howitt R.E, 2005. PMP based production models- development and integration. The Future of Rural Europe in the Global Agri-food System, Denmark, August: 23-21.

28. Howitt R.E., Medellin-Azuara J., MacEwan D. and Lund R, 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Science of the Environmental Modeling and Software, 38: 244-258.

29. Medellan-Azuara J., Harou J.J. and Howitt R.E, 2010. Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. Science of the Total Environment, 408: 5639–5648.

30. Medellan-Azuara J., Harou J.J. and Howitt R.E, 2012. Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. Science of the Agricultural Water Management, 108: 73–82.

31. Medellin-Azuara J., Lund J.R. and Howitt R.E, 2007. Water supply analysis for restoring the Colorado River Delta, Mexico. Journal of Water Resources Planning and Management, 133:462–471.

32. Franco-Crespo, c. and Sumpsi Viñas, j, 2017.The Impact of Pricing Policies on Irrigation Water for Agro-Food Farms in Ecuador. Sustainability, 9(1515): 1-18.

33. Rodríguez-Flores, J., Medellín-Azuara, J., Valdivia-Alcalá, R., Arana-Coronado, O. and García-Sánchez, R, 2019. Insights from a Calibrated Optimization Model for Irrigated Agriculture under Drought in an Irrigation District on the Central Mexican High Plains. Water, *(Switzerland)*, 11(4), [858]. https://doi.org/10.3390/w11040858.

www.SID.ir

Archive of SID

34. Todd, D.K., Mays, L.W, 2005. Groundwater Hydrology. Wiley, 4, 12-20.
35. Liu, S., Duan, j. and Van Kooten, G, 2018. Calibration of Agricultural Risk Programming Models Using Positive Mathematical Programming. Agricultural economics. 30th Conference of the International Association of Agricultural Economists (IAAE) in Vancouver, BC, Canada, 28 July – 2 August, p :1-23.

www.SID.ir